Untersuchung von Elektronenzählrohren

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde,
genehmigt von der Philosophischen Fakultät
der Friedrich-Wilhelm-Universität zu Berlin

Von

Carl Bosch
aus Heidelberg

Tag der Promotion: 28. II. 1934
Tag der Prüfung: 20. VII. 1933

Johann Ambrosius Barth in Leipzig

223

Referenten: Professor Dr. W. Nernst,
Professor Dr. M. von Laue

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderdruck aus „Annalen der Physik“
5. Folge, Band 19, Heft 1. 1934

Printed in Germany

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig 260

Meinen Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550810_0100

Einleitung

Der Anlaß der Untersuchungen waren Erfahrungen mit Zählrohren, die zum Messen der Höhenstrahlung verwendet wurden. Im Betrieb zeigten sich oft unerklärliche Erscheinungen, die zu Störungen Anlaß gaben. Bei der Herstellung war es nur ein glücklicher Zufall, wenn man ein zuverlässig arbeitendes Rohr erhielt. Beim Arbeiten als Meßgerät traten oft unerwünschte Formierungs- und Umbildungserscheinungen auf, die vollkommen regellos verliefen. Dies führte zur Fragestellung, ein Rohr herzustellen, was von diesen Fehlern frei und jederzeit reproduzierbar ist.[1])

Im allgemeinen zeigt jede Gasentladungsstrecke, die nicht mit großer Sauberkeit hergestellt worden ist, die Erscheinung des „Zählens". Notwendig dafür ist nur ein gewisser Gasdruck, eine geeignete Meßanordnung und eine Untersuchung bei genügend kleinen Stromstärken.

Unter „Zählen" sei im folgenden immer das Auftreten einzelner unregelmäßiger Entladungsstöße verstanden, deren Häufigkeit durch eine Bestrahlung mit radioaktiver Substanz erhöht wird und die durch stromlose Pausen voneinander getrennt sind. Die Häufigkeit und die Intensität der Stöße können dabei sehr verschieden sein. Im Gegensatz dazu steht das „Glimmen", das in zwei Formen auftreten kann. Erstens als ein ganz konstanter Strom, der sich nur mit der Spannung ändert und zweitens als eine regelmäßig schwingende Entladung, die gewöhnlich durch eine Bestrahlung nicht beeinflußt wird.

1) Außerdem erschien es angebracht, auch die Wirkungsweise eines Zählrohres im allgemeinen zu untersuchen und möglichst klarzustellen, da noch sehr verschiedene Meinungen darüber bestehen. Diese sind in einer Arbeit von F. Burger-Scheidlin (Ann. d. Phys. [5] 12. S. 283. 1932) zusammengefaßt, gleichzeitig soll noch auf eine neuere Erklärung von W. Schulze (Ztschr. f. Phys. 78. S. 92. 1932) hingewiesen werden.

Eine Reihe von Vorversuchen, die an ganz undefinierten Rohren vorgenommen wurden, führten zum Ergebnis, daß die Zählfähigkeit beispielsweise durch eine Glimmentladung mit relativ hoher Stromstärke merklich beeinflußt, wenn nicht kurzzeitig ganz unterdrückt wird. Erst nach Stunden oder Tagen hat dann das Rohr wieder seine alte Eigenschaft. Dies legte die Vermutung nahe, daß für das Zustandekommen des Zählens besonders die Reinheit des Füllgases und die der Elektroden (deren Oberfläche) maßgebend ist. Eine Erklärung durch Vorgänge, die sich nur im Gasraum abspielen, erscheint bei den beobachteten langandauernden Veränderungen sehr unwahrscheinlich.

Problemstellung

Die Arbeit zerfällt in zwei Teile:

1. Unter welchen Umständen verschwindet bei einer Gasentladungsstrecke mit Sicherheit die Erscheinung des „Zählens"?

2. Wie kann man durch eine genau bestimmte Änderung einer Versuchsbedingung diese Erscheinung bei einem zählfreien Rohr wieder hervorrufen?

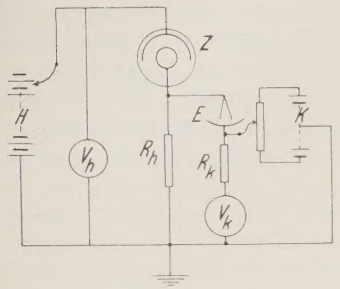
Experimenteller Teil

Die Untersuchung der Rohre wurde in der Schaltung vorgenommen, in der sie normalerweise als Meßgeräte arbeiten. Im Gegensatz zu anderen Versuchen wurde hier kein Glühkathodenrohr als Ableitewiderstand gewählt. Dieses gestattet zwar eine rasche Messung, ändert aber die Gleichgewichtsbedingungen nicht unwesentlich, da hier der Widerstand nicht konstant, sondern eine Funktion der Stromstärke ist, und bei Sättigung den Wert Unendlich annimmt. Es hat sich nämlich manchmal herausgestellt, daß die Größe des Widerstandes entscheidend für das Auftreten des Zählens ist.

Fig. 1 zeigt die Meßschaltung. Zur Ableitung dienten auswechselbare hohe Widerstände R_h mit Bernsteinisolation im Bereich von $10^8 - 3 \cdot 10^{10}$ Ohm. Sie wurden regelmäßig auf ihre Werte hin kontrolliert. Das benutzte Wulfsche Einfadenelektrometer E wurde in den verschiedensten Empfindlichkeiten verwendet. Beim Ausmessen der Stromspannungskurven wurde es hauptsächlich als Nullinstrument geschaltet. Als Kompensation diente ein Siemensvoltmeter V_k (10 Ohminstrument). Als Spannungsmesser für die hohe Gleichspannung wurde ein elektrostatisches Instrument von Hartmann & Braun mit einem Meßbereich von 1500 Volt verwendet. Die eigenartige, fast logarith-

mische Teilung der Skala erlaubte dabei eine Ablesung, die bis auf fast 2 v. T. genau war.

Größere Schwierigkeiten hat die Herstellung der hohen Gleichspannung bereitet. Anfänglich wurden dafür hintereinander geschaltete Anodenbatterien verwendet, die sich aber



V_h = Hochspannungsvoltmeter
V_k = Kompensationsvoltmeter
E = Wulfsches Einfadenelektrometer
H = Hochspannungsquelle
K = Kompensationsbatterie
Z = Entladungs-(zähl-)rohr
R_h = Großer Ableitewiderstand
R_k = Voltmetervorschaltwiderstand

Fig. 1. Schaltschema der Meßanlage

durch die Potentiometerspannungsteilung bald erschöpften. Deshalb wurde später ausschließlich mit einer besonders dafür gebauten Gleichrichteranlage gearbeitet. Um von den unvermeidlichen Schwankungen des Wechselnetzes frei zu werden, sind überspannte Glühkathodenröhren mit Wolframkathode und gesondert eingeführter Anode verwendet worden. An jedem dieser Rohre lagen bis zu 3000 Volt Scheitelspannung, die sie auch längere Zeit ohne weiteres ausgehalten haben. Die Heizung der Kathoden besorgte anfänglich ein kleiner Transformator, der aber bald durch Akkumulatoren ersetzt wurde, um eine ganz konstante Emission zu bekommen. Da die Rohre bereits bei etwa 300 Volt Anodenspannung Sättigung zeigten, war man unter den oben angegebenen Umständen auch von starken Schwankungen des Wechselnetzes bei der Messung unabhängig. Die Anlage hat sich für diese Versuche ausgezeichnet bewährt. Nach kurzem Einbrennen der Rohre konnte am Voltmeter keine Spannungsschwankung mehr beobachtet werden. Die grobe Regulierung der Spannung wurde mit dem Heizstrom, die feine mit dem Spannungsteiler ausgeführt. Dieser war ein Flüssigkeitswiderstand von etwa $5 \cdot 10^5$ Ohm. Zur Beruhigung der Spannung dienten zwei große Kondensatoren von 10 μF und drahtgewickelte Widerstände.

Die Messungen selbst beschränkten sich lediglich auf die Art der Entladung (ob Glimmen oder Zählen) und auf die Untersuchung von statischen Stromspannungskurven.

Versuche

A

Eine Reihe von Entladungsröhren, die wie normale Zählrohre hergestellt (Metallzylinder mit zentral durchgespanntem Draht in abgeschmolzenem Rohr) und mit verschiedenen Gasen gefüllt und untersucht wurden, führten zum Ergebnis, daß nur in einem Rohr, dessen Elektroden aus reduziertem Kupfer bestanden, und das mit reinem Helium gefüllt war, kein Zählen beobachtet werden konnte. Ferner wurden Elektroden aus Kupfer, Silber, Zink und Stahl untersucht. Die Füllgase waren dabei: Reines Helium, Helium mit etwas Sauerstoff, Helium mit etwas Chlor, Helium–Neongemisch und gewöhnliche Luft.

Erst nach einiger Zeit trat auch bei dem oben erwähnten Rohr mit den Kupferelektroden wieder ein schwaches Zählen auf, das aber nur schwer zu beobachten war. Alle anderen Rohre zeigten sehr schlecht reproduzierbare Eigenschaften. Nach diesen vorläufigen Ergebnissen erschien es wahrscheinlich, daß man es bei der zählenden Entladung im wesentlichen mit einer Einwirkung des Füllgases, sei es chemischer oder physikalischer Natur, auf das Material der Elektrode zu tun hat. Ein deutlicher Einfluß der Polarität war hierbei nicht zu finden.

Die weiteren Versuche wurden mit einem Rohr ausgeführt, bei dem die Drahtelektrode in einem Bügel aus Glas ausgespannt war, der in einem herausnehmbaren Schliff befestigt wurde. Die andere Elektrode war aus dünnem Goldblech hergestellt. Das Rohr lag über einer Ausfrierfalle, die in flüssige Luft tauchte, an der Vakuumpumpanlage.

Versuche mit einem Golddraht und Luftfüllung: Der Draht wurde mit Alkohol gereinigt und dann in das Rohr eingesetzt. Die Messung wurde bei 12 und 17 mm Luft ausgeführt. Dabei zeigten sich regelmäßig schwingende Entladungen und kurzzeitig konstante Stromdurchgänge. Als Ableitung diente ein Widerstand von 10^9 Ohm. In der Schaltung mit positivem Draht zeigte sich deutliches Zählen. Dieselben Resultate ergaben Untersuchungen bei 2 und 5 mm Luft.

Versuche, wie oben mit Luft und Wasserstoff von 9 bzw. 8 mm, führten zum Ergebnis, daß beim Kühlen des Rohres mit flüssiger Luft die schwingende Entladung bei negativem Draht in einen fast konstanten Glimmstrom überging. Beim Erwärmen auf Zimmertemperatur stellte sich das Schwingen des Stromes wieder ein. Dieselbe Erscheinung konnte auch bei Heliumfüllung und einer Stahldrahtelektrode

gefunden werden. Hier verschwand die disruptive Entladung sogar für beide Polungen.

Ein kurzer Versuch in Wasserdampf von etwa 14 mm Hg zeigte auch ein Zählen.

Weitere Messungen, die mit zwei Rohren mit verschiedenen eingeschmolzenen Zentralelektroden (oxydierter Stahl und Kupfer) ausgeführt wurden, ergaben keine klaren Verhältnisse. Dies wurde darauf zurückgeführt, daß die Sauberkeit sowohl der Rohre, als auch die des Füllgases noch nicht genügte. Deshalb wurde für die weiteren Untersuchungen immer möglichst reines, in abgeschmolzenen Glasbomben geliefertes Gas verwendet, das besonders im Laboratorium der I. G. Farbenindustrie für diese Versuche hergestellt und auf Sauberkeit hin untersucht wurde.

B

Es wurde nun ein Rohr angefertigt, um die Entladung unter möglichst sauberen Bedingungen zu studieren. Als Material für die Elektroden wurde reines Gold und als Füllgas reines Helium verwendet. Dies geschah deshalb, um Wechselwirkungen zwischen Metall und Füllgas möglichst auf ein Minimum herabzusetzen. Die Reinigung erfolgte durch ein intensives Ausheizen im elektrischen Ofen. Die Konstruktion war, wie üblich, ein Zylinder mit durchgespanntem koaxialem Draht von 0,5 mm Durchmesser, der durch eingeschmolzene Platindurchführungen gehalten wurde. Als Gasdruck wurde 12 mm Hg gewählt. Schon die Messungen, die während des Füllens bei den Drucken 2, 4, 6, 8 und 12 mm vorgenommen wurden, zeigten keine Spur von Zählen. Von einer gewissen Spannung ab setzte der Strom ohne irgendwelche Unstetigkeit ein und stieg mit zunehmender Spannung ebenso stetig weiter. Auch beim Senken der Spannung und beim raschen An- und Abschalten zeigten sich keinerlei instabile Zustände. Figg. 2a und 2b zeigen die gemessenen Stromspannungskurven. Die Kurven sind ohne jede Unregelmäßigkeiten.

Das Rohr wurde abgeschmolzen und mit verschiedenen hohen Vorschaltwiderständen untersucht. Auch bei den geringsten Stromstärken wurde kein anderes Ergebnis gefunden. Eine Änderung der Polung bewirkte nur eine Verlagerung der Anfangsspannung. Auch die Messungen, die später in gewissen Zeitintervallen am Rohr vorgenommen wurden, führten zum selben Resultat. Es erwies sich als ganz unveränderlich und reproduzierbar. Diese Messungen sind alle statisch durchgeführt worden. Es bestand aber die Möglichkeit, daß sich das Rohr vom dynamischen Standpunkt aus betrachtet, ganz

anders verhielt. Das Hinzuschalten eines geeigneten Kondensators konnte eventuell zu einem anderen Resultat führen. Kondensatoren von 50—1000000 cm wurden zum Rohr sowohl parallel als auch in Serie gelegt, und jeweils mit verschiedensten Widerständen zusammen untersucht. In keiner dieser Schaltungen konnte ein Zählen gefunden werden. Auch an diesem Rohr wurde festgestellt, daß oberhalb einer gewissen Spannung zwischen Anschalten und Zündung der Entladung immer eine kleine Zeit verging, wie es auch von Funkenstrecken her bekannt ist, ein Abreißen des Stromes konnte jedoch nie beobachtet werden. Auffällig dabei war der relativ niedere und konstante Wert der Zündspannung.

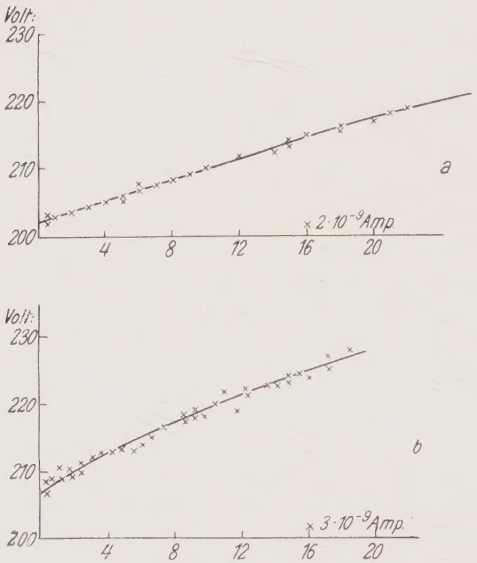


Fig. 2. Helium, rein, 12 mm Hg. Elektroden: Goldzylinder und 0,5 mm Golddraht. a) Draht positiv; b) Draht negativ

C

Um den möglichen Einfluß der Feldstärkenverteilung auf den Elektroden zu finden, wurde ein Rohr hergestellt, bei dem es möglich war, sowohl eine Platten- als auch eine Drahtelektrode, die beide aus Aluminium waren, miteinander zu vergleichen. Dazwischen war genau in der Mitte ein Golddraht ausgespannt. Die Reinigung dieses Rohres erfolgte hier ausschließlich noch durch kräftige Glimmentladungen in Helium bei etwa 5 mm Hg, da ein Ausheizen bei der ganzen Konstruktion zu riskant war. Später hat sich dann diese Art der Reinigung bei geringen Gasdrucken (10^{-2} mm) als noch wirksamer erwiesen. Dies geschah jeweils vier- bis fünfmal, wobei immer frisches Helium verwendet und wieder abgepumpt wurde.

Ein Vorversuch mit 20 mm trockener Luft zeigte nur eine Gleichstromglimmentladung bei positiver Goldelektrode. Bei allen anderen Schaltungen ließ sich auch deutlich eine

durch die Entladung bewirkte Veränderung (Erhöhung der Spannung während der Messung) feststellen. Ein richtiges Zählen wurde nicht immer gefunden, sondern manchmal nur regelmäßig schwingende Entladungen, die wohl als eine Zwischenform zwischen Zählen und ganz glatter Gleichstromentladung zu betrachten sind. Diese Form wurde auch früher schon beobachtet.

Messungen im reinen Helium

Die Reinigung geschah wie oben schon beschrieben. Als Spannungsgenerator wurde hierbei ein großer Funkeninduktor benutzt, der als Transformator mit 500 Perioden Wechselstrom verwendet wurde, um eine möglichst gleichmäßige Reinigung beider Elektroden zu gewährleisten. Bei der Gleichstromreinigung (als Funkeninduktor) war die Aluminium-Tellerelektrode als Kathode geschaltet.

Bei der Reinigung konnte oft beobachtet werden, daß sich, wie bei fast allen Gasentladungen, auf den Elektroden einzelne kleine, diskrete Lichtpünktchen zeigten, die oft längere Zeit an ein und derselben Stelle festsaßen, aber mit weitergehender Säuberung verschwanden. Diese Erscheinung konnte, wie sich besonders auch bei den folgenden Messungen zeigte, direkt als Kriterium für die Sauberkeit der Elektroden verwendet werden. Bei der dritten und vierten Spülung waren die Elektroden nur noch von einer gleichmäßig leuchtenden Lichthaut überzogen.

Gemessen wurde nun bei 4,75 mm Helium. In keiner Schaltung gelang es, ein Zählen zu beobachten, auch nicht mit den hohen Widerständen. Die Entladung war genau so, wie sie bereits oben beim Goldrohr beobachtet worden ist.

Das Einlassen von etwa 0,05 mm trockner Luft bewirkte das Auftreten von schwachen disruptiven Entladungen, die aber meistens keine richtigen Zählstöße, sondern mehr gleichmäßig oszillierende Entladungen waren. Diese Beobachtung konnte auch noch bestätigt werden durch eine Messung, die ausgeführt wurde, nachdem die flüssige Luft verdampft war. Hier war jedoch jetzt ein richtiges Zählen zu finden, außer beim positiven Golddraht, wo es immer noch schwingende Entladungen waren. Demnach sind scheinbar Gase, die durch flüssige Luft ausgefroren werden können, für das Zustandekommen der ganzen Zählerscheinung maßgebend, also wohl Wasserdampf, Kohlensäure und eventuell Kohlenwasserstoffe, während reiner Sauerstoff nicht so wirksam ist. Es ist hier auch nicht gelungen, lediglich durch Abpumpen des Gases

und durch Wiedereinfüllung von reinem Helium die Zählfähigkeit wegzubringen.

Weitere Versuche mit Helium und Sauerstoff:

Letzterer wurde durch Erhitzen von HgO in einem an die Apparatur angesetzten Hartglasrohr erzeugt. Merkwürdigerweise fand sich, daß in dieser Gaszusammensetzung bei einzelnen Schaltungen ganz glatte Gleichstromeinsätze möglich und bei anderen Schaltungen der Elektroden nicht die großen Stöße zu beobachten waren, wie es vordem geschah. Wenn also die Oxydschicht der Elektroden wirklich eine Rolle spielen sollte, kann man es nur so erklären, daß ohne das Vorhandensein von Wasserdampf eine Oxydation der Elektroden garnicht oder nur sehr langsam stattfindet. Als das Rohr nach längerem Stehen über flüssiger Luft wieder in Helium ausgemessen wurde, zeigte sich ein gutes Zählen, das aber bald verschwand, als das Rohr einer starken Glimmentladung ausgesetzt wurde. Es gelang allerdings nicht, das Zählen längere Zeit zu unterdrücken. Bei einem weiteren Glimmversuch brannte das Rohr durch.

Aus den Versuchen geht hervor, daß die Feldstärkenverteilung offensichtlich nicht von wesentlichem Einfluß ist. Wichtig scheint jedoch die Wirkung geringster Verunreinigungen zu sein.

D

Die weiteren Untersuchungen wurden wieder mit einem Dreielektrodenrohr ausgeführt. Zwischen zwei Plattenelektroden, einer aus Aluminium, die andere aus Goldblech, war ein Golddraht ausgespannt. Die Reinigung geschah wiederum im wesentlichen, wie oben schon beschrieben, durch Glimmentladungen.

Eine kurze Vorprüfung bei 12 mm Helium ergibt nur einen glatten Einsatz, wenn der Draht Anode ist. Erst nach öfterem Spülen und Glimmen zeigen sich in allen Elektrodenschaltungen glatte, zählfreie Einsätze (in 12.5 mm Helium).

Helium: Sauerstoff = 10,5 mm : 0,01 mm

Hier wurde kein Zählen beobachtet, wenn die Aluminiumplatte Kathode war. Auch ein kurzes Glimmen änderte daran nichts. Das Einlassen von etwas mehr Sauerstoff ergibt dasselbe Resultat. Tab. 1 zeigt die Abhängigkeit der Entladungsform von Elektrodenschaltung und Versuchsbedingung.

Tabelle 1

Polung						Versuchsbedingung
Aluminiumplatte − Golddraht +	Golddraht + Goldplatte −	Goldplatte − Aluminiumplatte +	Aluminiumplatte + Golddraht −	Golddraht − Goldplatte +	Goldplatte + Aluminiumplatte −	
G	z−	z−	z	z−	G	10,5 He + 0,01 O_2
G	z−	G, z−	z	z	G	Nach kurzem Glimmen
G	z+	z	z−	z	G	+ 0,01 mm O_2
G	G	G	G	G	G	Spülen mit 10 mm O_2 dann He, rein 9 mm
z−	z	z	z+	z	z−	+ etwas O_2
G	z+	z	z+	z	G	Längere Zeit gestanden
G	G	G	z	z	G	Nach Glimmen in He + O_2
G					G	Nach etwa 3 Std.
G	G−	G−	G	G−	G	Abgepumpt, dann He 9,2 mm ohne Reinigung
G	z−	G−	z−	z−	G	+ etwa 0,01 mm H_2
G	G−	G−	z	z	G	Nach kurzem Glimmen
G−	z+G−	z+G−	z+	z+	G	+ 0,95 mm H_2
G	G	G	G	G	G	Abgepumpt und mit 9,2 mm Helium gefüllt
G	G	G	G−	G−	G	Helium 4,6 mm
G	G	G	G	G−	G	Helium 2,4 mm

Zeichen: G = Gleichstrom-Glimmeinsatz,
„G−" = anfänglich einige Stöße, dann glatter Gleichstrom,
„z−" zählt mit schwacher
„z" „ „ normaler
„z+" „ „ starker
} Amplitude.

Zusammenfassend läßt sich sagen:

Es wurde *kein* Zählen beobachtet:

a) In reinem Helium bei allen Schaltungen.

b) In Helium + Sauerstoff und Helium + Wasserstoff nur bei negativer Aluminiumplatte.

Gutes Zählen wird beobachtet:

In Helium + Sauerstoff und Helium + Wasserstoff bei negativem Golddraht.

Demnach scheint für eine gewisse Eigenschaft innerhalb dieser Untersuchung immer eine *Kathode* maßgebend zu sein.[1])

E. Versuche mit Aluminiumelektroden

Die Anordnung bestand hier aus drei zusammengeschmolzenen Rohren mit je zwei Elektroden. Das erste hatte zwei Aluminiumplattenelektroden von 30 mm Durchmesser in einem Abstand von 10 mm voneinander. Die Platten waren an allen Stellen sorgfältig abgerundet und poliert, um hohe Feldstärken zu vermeiden. Das zweite Rohr enthielt jeweils eine Plattenelektrode (wie oben) und eine Schneidenelektrode. Letztere hatte eine prismatische Form und eine scharfe Kante, die direkt der Platte gegenüberstand. Bis auf diese scharfe Schneide waren alle übrigen Kanten ebenfalls wieder sorgfältig abgerundet. Das dritte Rohr enthielt zwei Schneidenelektroden. Der Abstand der Elektroden voneinander betrug in allen drei Fällen 10 mm.

Messungen mit Helium

Nachdem die Rohre gut im elektrischen Ofen ausgeheizt waren, wurde bei allen möglichen Schaltungen und folgenden Drucken gemessen:

$p = 1{,}7 \quad 5{,}0 \quad 9{,}6 \quad 17{,}6 \quad$ und $\quad 40{,}4$ mm Hg.

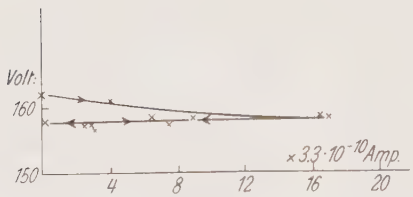


Fig. 3. Helium, rein, 5 mm Hg.
Anode: Aluminiumplatte
Kathode: Aluminiumschneide

In keiner Schaltung und bei keinem dieser Drucke war ein Zählen zu beobachten. Auch die Ausmessung der Charakteristik zeigt nichts Außergewöhnliches (Fig. 3). Die Kurve liegt bei allen Messungen bei ansteigender Spannung etwas höher als bei abfallender. Auch eine Messung mit verschieden hohen Vorschaltwiderständen führt zum selben Resultat. Bei ganz niederen Drucken und hohen Spannungen konnten dagegen disruptive Entladungen gefunden werden (vgl. auch später).

1) C. Bosch u. H. Klumb, Die Naturwissenschaften **18**. S. 1098. 1930.

Messungen mit Stickstoff

Die Vorversuche, die nach einer Glimmreinigung mit Helium bei 1,8 mm Stickstoff durchgeführt wurden, ergeben größere Unterschiede des auf- und absteigenden Teiles der Kurve als bei Helium. Der Strom zeigt auch oft schwache Unstetigkeiten. Nach einem Glimmen in Stickstoffatmosphäre trat plötzlich ein Zählen auf, das erst wieder bei etwas höheren Drucken in ein instabiles Glimmen überging. Um eine eventuelle Nachwirkung auf den Elektroden zu fixieren, wurde nun direkt ohne weitere Reinigung des Stickstoffs abgepumpt und mit 2 mm Helium gefüllt. Jetzt waren die Entladungen ohne jedes Zählen. Das Einfüllen von 3,3 mm Wasserstoff bewirkte dagegen sofort wieder ein Auftreten von Zählstößen. Dasselbe geschah auch bei 6,4 und 10 mm Wasserstoff. Hier waren auch mitunter wieder die regelmäßigen Schwingungen zu finden, wie sie schon früher beobachtet wurden. Alle diese Messungen wurden mit einer Ableitung von $5 \cdot 10^8$ Ohm ausgeführt.

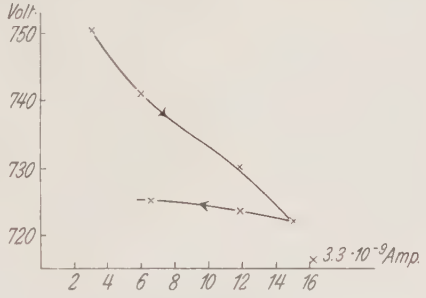


Fig. 4. Stickstoff, 14,2 mm Hg.
2 Schneidenelektroden aus Aluminium

Nachdem wieder frischer Stickstoff von 6 mm Druck eingefüllt wurde, ergab sich, daß in allen Schaltungen die Entladungen ganz zählfrei waren. Die gemessene Charakteristik (Fig. 4) zeigt im Gegensatz zu Helium eine sehr starke Formierung, die sich hier in einer Spannungssenkung während der Messung ausdrückt. Am wenigsten stark ist diese Formierung bei den beiden Plattenelektroden. Erst nach einiger Zeit zeigen sich in allen Rohren wieder zählende Entladungen, die teilweise durch Glimmentladungen zu beseitigen sind. Nachdem die Rohre nun alle im elektrischen Ofen ausgeheizt worden sind, wurde noch einmal bei 8 mm Stickstoff gemessen. Wieder war eine Formierung zu finden und nach längerem Stehen zeigten sich auch wieder Zählstöße. Diese Messungen wurden mit $3 \cdot 10^9$ Ohm ausgeführt.

Bei 14,2 mm Stickstoff wurde ein glatter Einsatz und große Spannungssteigerung während der Messungen gefunden. Diese Charakteristik zeigte auch später instabile Zustände.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß es auch bei Stickstoff gelingt, ganz zählfreie Entladungen zu bekommen, die sich allerdings nicht längere Zeit erhalten lassen. Starke Änderungen der Spannung und große Empfindlichkeit gegen Glimmbehandlung waren dabei fast immer zu finden. Bei allen Rohren trat nach einigen Stunden Stehens wieder ein Zählen auf. Vielleicht sind diese Erscheinungen auf den chemischen Angriff von Stickstoff auf Aluminium zurückzuführen (Bildung von AlN). Dabei scheint das Vorhandensein von geringsten Spuren von Wasser entscheidend mitzuwirken.

Wasserstoffversuche

Nach erfolgter Reinigung zeigte ein Vorversuch bei 2 mm Wasserstoff ein Zählen, das aber durch eine Glimmentladung einige Zeit zu beseitigen ist. Dasselbe Ergebnis hatte eine Messung bei 4,2 mm Wasserstoff.

Die folgenden Messungen bezweckten nun eine Abhängigkeit der Form der Charakteristik von der Vorbehandlung und einen Zusammenhang mit der Zählfähigkeit aufzufinden. Deshalb wurde im selben Rohr und im gleichen Gas bei konstantem Druck gemessen. Dies geschah in Wasserstoff bei 4,2 mm Druck, auf äußerste Sauberkeit wurde dabei kein Wert gelegt, da gerade der Einfluß einer Verunreinigung sichergestellt werden sollte.

Das Rohr stand drei Tage ruhig und war dauernd mit der gekühlten Ausfrierfalle verbunden. Beim Messen waren

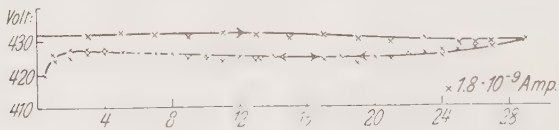


Fig. 5. Wasserstoff, 4,2 mm Hg.
Anode: Aluminiumschneide. Kathode: Aluminiumplatte

zuerst große Stöße zu beobachten, die aber durch eine kurze Glimmentladung beseitigt werden konnten. Fig. 5 zeigt die dann gemessene Stromspannungskurve. Hier liegt der ansteigende Ast der Kurve höher als der abfallende. Dieser jedoch war allein reproduzierbar. Fig. 6 zeigt noch einmal die Abhängigkeit der Charakteristik von der Vorbehandlung mit einem Funkeninduktor. Fig. 6a gibt prinzipiell denselben Kurvenverlauf wie vorher. Ganz anders dagegen Fig. 6b. Hier hat sich die Form vollkommen verändert. Auch liegen

alle Meßpunkte annähernd auf derselben Kurve. Eine Formierung ist während der Messung nicht festzustellen. Fig. 6c zeigt den Einfluß einer Hochfrequenzreinigung (Funkeninduktor

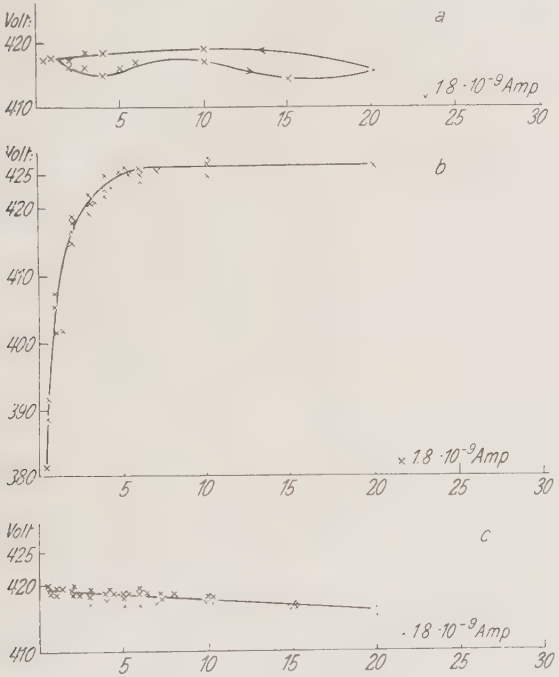


Fig. 6. Wasserstoff, 4,2 mm Hg.
Anode: Aluminiumschneide. Kathode: Aluminiumplatte.
a) Nach Glimmen entgegengesetzt der Polung bei der Messung
b) dgl., mit Funkeninduktor
c) dgl., Funkeninduktor kapazitiv angekoppelt

kapazitiv an das Rohr angekoppelt). Auch diese Kurve ist eindeutig, hat aber wieder eine vollkommen andere Lage, wie sie Fig. 6b zeigt.

Der Versuch, einen Zusammenhang zwischen Kurvenform (bei der sehr oft scheinbar stark fallende Teile zu bemerken waren) und Zählfähigkeit zu finden, führte zu keinem Resultat. Eine weitere Meßserie wurde nun bei kleineren Stromstärken durchgeführt. Die maximale Stromempfindlichkeit betrug dabei etwa $6 \cdot 10^{-10}$ Amp./pro Skalenteil. Die Messung wurde bei negativer Platten- und positiver Schneidenelektrode mit einem Widerstand von $3 \cdot 10^9$ Ohm ausgeführt. Die Vorschaltwiderstände während

der Glimmbehandlung bewegten sich zwischen den Werten von 10^4 bis 10^9 Ohm. Die Messung gliedert sich in zwanzig einzelne Versuchsreihen. Dabei fällt auf, daß der Charakter der Kurve von der Polarität der vorangehenden Entladung abhängt. Um ein möglichst klares Bild des Kurvenverlaufs zu bekommen, wurde, nach Polarität der reinigenden Entladung geordnet, die Mittelwerte von den entsprechenden Spannungen gebildet und zu einer Kurve zusammengefügt. Fig. 7a zeigt den Kurvencharakter nach einem Glimmen, bei dem die Platte Kathode war, Fig. 7b die Kurve bei positiver Plattenelektrode. Man sieht hier deutlich den Unterschied. Bei Fig. 7a wächst der Strom anfänglich nur langsam mit der Spannung, um nachher schneller zuzunehmen. Auf- und absteigender Kurventeil sind sich sehr ähnlich und decken sich fast vollkommen. Bei Kurve 7b ist das Verhalten bei kleinen Stromstärken anders, auch ist auf- und absteigender Teil nicht gleich. Ferner ist noch die verschiedene Lage beider Kurven hinsichtlich der Spannung auffällig, 7a liegt ungefähr 20 Volt höher als 7b.

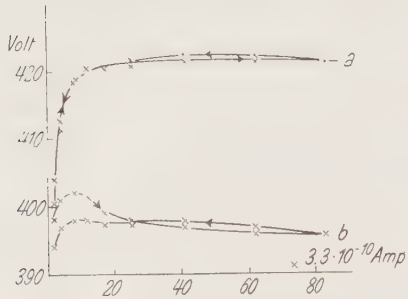


Fig. 7. Wasserstoff, 4,2 mm Hg. Anode: Aluminiumschneide Kathode: Aluminiumplatte Gemittelte Werte.
b) Nach einer Glimmbehandlung entgegengesetzt der Polung der Messung
a) dgl., in gleicher Richtung

Wie man aus den Kurven sieht, sind die Abweichungen hauptsächlich im Gebiet kleiner Stromstärken zu finden. Deshalb wurde noch einmal mit größerer Stromempfindlichkeit gemessen. Aus Fig. 8 kann man sehen, daß hier die Änderung der Kurven in Hinsicht auf die Spannung viel größer als vorher ist. So beträgt z. B. der Unterschied bei gleichem Strom bei den beiden extremsten Fällen annähernd 150 Volt. 8a wurde ohne Vorbehandlung gefunden. 8b—d nach Glimmen und 8e wurde dann nach längerem Stehen gemessen. Diesmal ist der Einfluß der Polarität der Reinigung nicht deutlich. Dagegen ist der Unterschied zwischen einer unbehandelten und einer vorbehandelten Gasstrecke ziemlich groß. Es fällt dabei auf, daß im Gegensatz zu allen Messungen vorher die Punkte immer ziemlich gut auf ein und derselben Kurve liegen, und kaum eine Formierung festzustellen ist. Auf- und

absteigende Kurven sind immer annähernd gleich. Das läßt wohl darauf schließen, daß sich während der Messung selbst am Zustande der Entladungsstrecke nicht viel ändert bzw. die

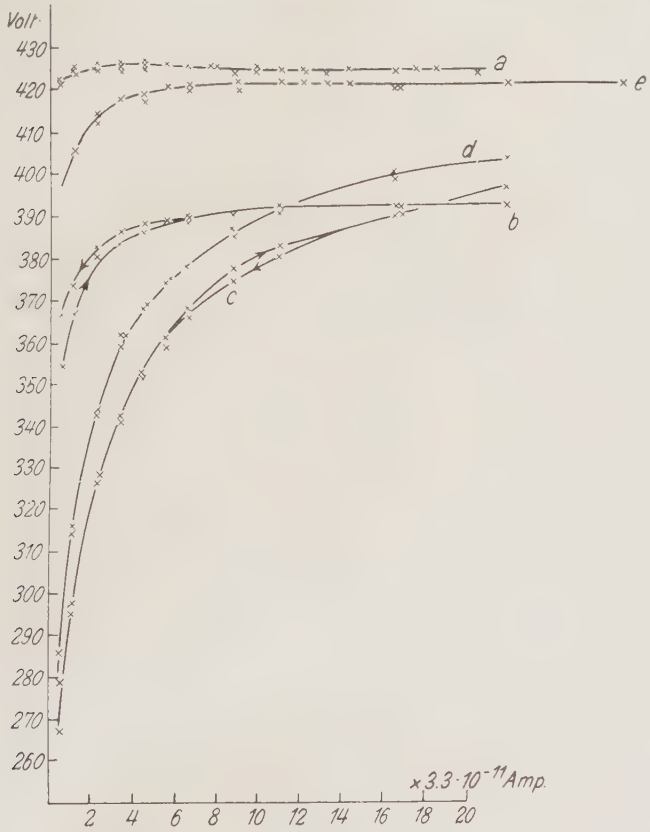


Fig. 8. Wasserstoff, 4,2 mm Hg.
Anode: Al-Schneide. Kathode: Al-Platte

a) Nach längerem Stehen
b) Nach Glimmen in entgegengesetzter Richtung der Polung der Messung
c) dgl., in gleicher Richtung
d) dgl., in entgegengesetzt. Richt.
e) Nach längerem Stehen gemessen, anschließend an a—d

Veränderung durch die Vorbehandlung ziemlich beständig ist. Durch Vorgänge, die sich allein im Gasraum abspielen sollen, ist das schwer zu erklären.

F. Platinspitze

Die Ergebnisse der Wasserstoffuntersuchungen legten die Vermutung nahe, daß die eigenartigen Formen der Charakteristik, besonders die fallenden Gebiete, durch Entladungen bedingt sind, die sich nicht gleichmäßig über die ganzen Elektroden erstrecken, sondern an einzelnen diskreten Punkten ansetzten. Die Tatsache, daß sich im allgemeinen mit zunehmender Reinigung die Entladungen von den zählenden über regelmäßig schwingende, zu glatt einsetzenden Gleichstromformen entwickeln und daß hier die Sauberkeit der Elektrodenoberflächen entscheidend ist, machte es wahrscheinlich, daß dabei auch räumlich nicht sehr ausgedehnte Raumladungen eine Rolle spielen. Von der optischen Wahrnehmung, daß bei der Reinigung der Rohre durch Glimmentladungen im allgemeinen die punktförmigen Ansätze der Entladungen mit zunehmender Säuberung verschwanden, wurde schon früher berichtet.[1]) Die Wirkung einer Verunreinigung wäre also etwa derart zu denken, daß einzelne kleine Stellen auf den Elektroden elektrisch irgendwie ausgezeichnet sind. Diese Stellen sind einer exakten Messung aber schwer zugänglich, wenn auch eine gewisse Reproduzierbarkeit aus den Kurven zu finden ist. Deshalb wurde versucht, im folgenden Experiment eine Elektrode punktförmig entsprechend zu begrenzen und sie dann in reinem Helium auszumessen. Sie wurde so hergestellt, daß ein Platin-Wollastondraht von 0,01 mm Durchmesser in eine Glaskapillare eingeschmolzen wurde. Diese wurde nun an ihrer Spitze mit einem feinen Arkansasstein angeschliffen und unter dem Mikroskop mit dem Immersionsobjektiv auf ihre Oberfläche hin kontrolliert. Man erhielt also auf diese Weise eine Elektrode von etwa 0,0001 mm^2 Oberfläche. Die Gegenelektrode war aus dünnem Goldblech becherförmig gedrückt, um rohe Feldstärken an den Rändern zu vermeiden. Anfänglich wurde diese Anordnung allein untersucht. Später aber noch eine Kontrollelektrode aus einem 0.3 mm starken Platindraht eingebaut, um gleichzeitig das Verhalten der Entladung bei Elektroden mit größeren Oberflächen studieren zu können. Das Rohr wurde nun, wie bisher alle, gut im elektrischen Ofen ausgeheizt und mit reinem Helium gefüllt. Die organischen Substanzen wurden vorher mit Schwefelsäurebichromatlösung entfernt und darnach mit destilliertem Wasser gespült.

1) Die Tatsache, daß sich Vorgänge an diskreten Punkten abspielen, ist auch von anderen Erscheinungen her bekannt. (Z. B. Glühkathodenemission, Katalysatoren usw.) Sie scheint von ziemlich allgemeiner Bedeutung zu sein.

Messung bei 9,8 mm Helium

Ein kurzer Vorversuch zeigte, daß sowohl bei positiver als auch negativer Spitze Zählstöße und hin und wieder auch schwingende Entladungen (Gleichstrom mit überlagertem Wechselstrom) zu finden waren. Ferner wurde eine sehr große Formierung des Rohres beobachtet, derart, daß die Spannung zur Aufrechterhaltung einer Entladung im Laufe der Zeit gewaltig anstieg. Dies dürfte auf eine starke Aufladung der Glasteile des Rohres zurückzuführen sein, denn unter sauberen Verhältnissen ist Glas ein ausgezeichneter Isolator. Versuche, die Leitfähigkeit des Glases zu erhöhen, blieben anfänglich erfolglos. Deshalb sollte die Leitfähigkeit der Spitzenelektrode selbst durch Aufstäuben einer ganz dünnen Goldschicht (kathodisch) etwas erhöht werden, wie es auch später geschehen ist. Nach Einbau der Hilfselektrode (0,3 mm Platindraht) wurde bei 8,5 mm Helium gemessen. Bei positiver Spitze konnte ein Zählen gefunden werden, dagegen bei positiver Hilfselektrode nicht. Auch hier zeigten sich wieder sehr starke Formierungen, die folgendermaßen als Aufladungen sichergestellt werden konnten: Das Rohr zählte mit der Spitze gleichmäßig bei etwa 400 Volt. Es wurde nun abgeschaltet und blieb 3 Minuten mit Erdpotential stehen. Beim Anlegen und Steigern der Spannung traten dann bei 360 Volt die ersten Stöße auf. Dann arbeitete das Rohr wieder regelmäßig bei 400 Volt. Derselbe Versuch wurde nun wiederholt, jedoch wurde das abgeschaltete und geerdete Rohr mit einem ganz in die Nähe gebrachten Radiumpräparat bestrahlt. Darauf wurde wieder die Spannung angelegt und es traten jetzt bereits bei 310 Volt, also niederer, die ersten Stöße auf. Bei 6 Minuten Erdung waren die entsprechenden Werte 348 und 310 Volt. Da die Leitfähigkeit des Glases sehr stark mit wachsender Temperatur zunimmt, sollte versucht werden, die störenden Aufladungen durch entsprechendes Erwärmen des Rohres zu beseitigen. Es wurde darauf im elektrischen Ofen erwärmt. Bei 55° C zeigte sich immer noch eine Formierung, die jedoch bei 100° schon verschwunden war. Nachdem konstante Verhältnisse eingetreten waren, wurden die Stromspannungskurven aufgenommen. Fig. 9a stellt die Charakteristik für kleine Stromstärken dar. Bei ungeheiztem Rohr findet man Kurve Fig. 9b. Man sieht, daß beim Ansteigen der Spannung, wie die Pfeile andeuten, keine stetige Kurve zu bekommen ist (wegen der Zählstöße), sondern nur beim Absteigen.

Die Vergleichsmessungen mit der Hilfselektrode beim selben Druck zeigten keine Stöße wie die Spitze. Die ein-

zelnen Kurvenpunkte sind auch besser reproduzierbar (vgl. Kurve 9c).

Um die Aufladung der Glasspitze bei Zimmertemperatur zu unterdrücken, und damit auch das Zählen, wurde die Spitze durch schwache Zerstäubung der Goldkathode etwas besser leitend gemacht. Es wurde zwischen Gold- und Hilfselektrode bei geringem Gasdruck (1 mm) geglimmt. Dabei stellte sich heraus, daß bei diesem Druck auch die Hilfselektrode manchmal zählte. (Später wurde ein ähnlicher Druckeinfluß gefunden, Versuch H.) Beim Steigern des Druckes hatte die so durch das aufgestäubte Gold etwas leitend gemachte Spitze ihre Zählfähigkeit tatsächlich verloren. Zusammenfassend haben sich hier zwei deutliche Einflüsse gezeigt:

a) Absolute Größe der Elektrode.

b) Der Druckeinfluß.

Diese Versuche sollen jedoch mehr als Vorversuche gelten und wurden später unter günstigeren Bedingungen noch einmal wiederholt (Versuch H).

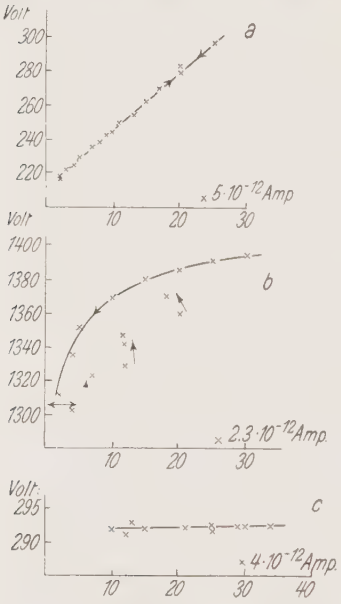


Fig. 9. Helium, 8,5 mm Hg.
a) Anode: Pt-Spitze. Kathode: Au-Platte. Rohr geheizt!
b) Polung wie 9a. Rohr nicht geheizt!
c) Anode: 0,3 mm Pt. Kathode: Au-Platte. Rohr nicht geheizt!

G. Versuche mit Gasbeladungen

Um den eventuellen Einfluß einer Gasbeladung festzustellen, wurde nun jeweils eine Gold- und eine Platinelektrode (beide 0,3 mm Durchmesser) miteinander verglichen. Beide Elektroden waren doppelseitig angeschlossene Drähte und konnten elektrisch geglüht werden. Die Gasbeladung selbst erfolgte mit Wasserstoff in der Annahme, daß dabei Platin viel mehr Gas adsorbiert wie Gold. Die Anordnung des Rohres war folgendermaßen:

Eine Zentralelektrode, die aus einem 1 mm starken Golddraht bestand, war einseitig im Rohr befestigt und eingeschmolzen. Senkrecht zu ihr waren jeweils in etwa 1 cm Entfernung der Gold- und Platindraht gespannt, die sich also

gegenüberstanden. Die ersten Versuche wurden mit 5,5 mm Helium ausgeführt. Bei positiver Zentralelektrode zeigten sich deutlich fallende und instabile Gebiete, ein Zählen wurde nicht beobachtet (Figg. 10a und 10b). Nach längerem Stehen des Rohres wurde noch einmal gemessen. Bei positiver Platinelektrode zeigten sich sehr starke Formierungen, die bei der Goldelektrode fehlten. Bei positiver Zentralelektrode und Platin als Kathode hat sich die Stromspannungskurve vollkommen geändert. Sie ist nicht mehr fallend, wie 10a, sondern ziemlich stark ansteigend. Dabei wurden anfänglich einige Zählstöße beobachtet. Um den Einfluß einer Wasserstoffbeladung festzustellen, wurde das Rohr einige Minuten mit Wasserstoff gefüllt, der dann abgepumpt und wieder durch Helium ersetzt wurde. Eine wesentliche Änderung der Ergebnisse konnte nicht gefunden werden. Bei diesen Versuchen wurde ebenfalls *nur* bei positiver Zentralelektrode kein Zählen gefunden, was bei den anderen Schaltungen anfänglich öfters zu beobachten war. Besonders deutlich zählte es bei positivem Platindraht. Es verschwand aber vollkommen, als der Draht geglüht wurde, und trat erst nach einiger Zeit wieder auf. In der anderen Schaltung mit positiver Goldelektrode blieb die Entladung unverändert (zählte). Eine Wiederholung ergibt dasselbe Resultat. Auch nach längerem Stehen war nur bei positiver Zentralelektrode und Platinkathode ein glattes Einsetzen zu beobachten. Dieselben Ergebnisse wurden erhalten bei einer Messung in 10,3 mm Wasserstoff. Nach nochmaliger Abnahme und gründlicher Reinigung des Rohres und anschließender Ausheizung wurde wieder bei 5 mm Helium gemessen. Die Untersuchung erfolgte jetzt ausschließlich mit Platinanode und Zentralkathode. Dabei war ein gutes Zählen zu beobachten. Es wurde nun versucht, sowohl die Größe eines Zählstoßes als auch die der Stromstärke bei der gezündeten Entladung als Funktion der angelegten Spannung

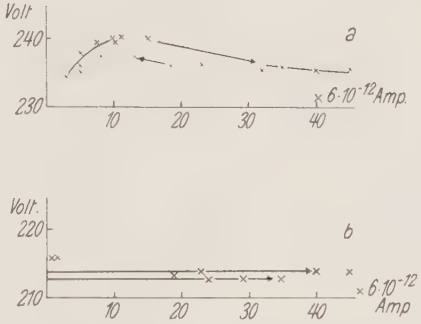


Fig. 10.
a) Helium 5,5 mm. Anode: 1 mm Au. Kathode: 0,3 mm Pt.
b) dgl., Kathode: 0,3 mm Au.

festzustellen. Dabei trat ein Zählen, allerdings nur mit einem Ableitewiderstand, von $3 \cdot 10^{10}$ Ohm auf.

Die Größe eines Stoßes wurde folgendermaßen bestimmt: Wenn der Widerstand abgeschaltet wurde, also das Rohr in Serie mit dem Elektrometer lag, so wurde dies durch einen einzigen Stoß auf eine gewisse Spannung aufgeladen. Ein Aufladen durch mehrere Stöße konnte nicht beobachtet werden.

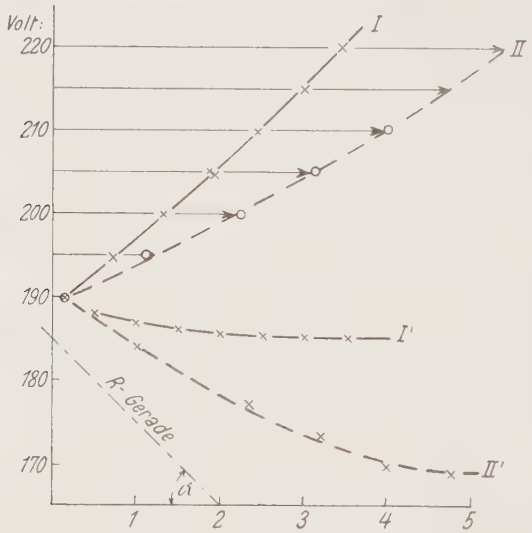


Fig. 11. Helium, nicht rein, 5 mm Hg.
Anode: 0,3 mm Pt. Kathode: 1 mm Au.
I' und *II'* sind auf Klemmenspannung reduziert.
× $3{,}3 \cdot 10^{-10}$ Amp.

Diese Spannung erwies sich als gut reproduzierbar. Der Glimmstrom wurde, wie bisher, durch den Spannungsabfall am hohen Widerstand gemessen. Kurve Fig. 11 zeigt das Ergebnis. Dabei ist *I'* die auf Klemmenspannung reduzierte Glimm- und *II'* die ebenfalls reduzierte Stoßcharakteristik. Man sieht daraus deutlich, daß ein Stoß bei einer gewissen angelegten Spannung das Rohr tiefer entlädt, wie es eigentlich nach der Stromspannungskurve der Glimmentladung zu erwarten wäre. Messungen der Charakteristik bei kleineren Stromstärken ergeben nichts neues. Eine Messung, die in unreinem Helium vorgenommen wurde, zeigt, daß beim Erwärmen der Pt-Kathode das Zählen verschwindet und beim Abkühlen wieder auftritt.[1])

1) Dies läßt sich leicht erklären, weil durch die schon vorhandene Elektronenemission der Kathode der Zündverzug verschwindet.

Das war gut reproduzierbar. Dabei konnte das Zählen allerdings nur ohne Ableitewiderstand beim Arbeiten gegen das Elektrometer beobachtet werden. (Im Gegensatz zu positiver Platinelektrode, wo dies nicht möglich war, sondern jeweils nur ein Stoß das Elektrometer auflud und beobachtet werden konnte.)

H

Diese Versuche wurden unternommen, um noch einmal im Anschluß an F die Entladungsformen bei geometrisch klein gehaltenen Elektroden zu studieren. Als Füllgas diente ausschließlich spektralreines Helium. Die Resultate der Versuche F (eingeschmolzene Platinspitze) hatten zwar einige positive Ergebnisse, jedoch waren die Versuchsbedingungen nicht recht klar. Die Platinspitze an sich als auch die störenden Aufladungen, die durch das Glas hereinkamen, waren für die nochmalige Wiederholung der Versuche unter günstigeren Bedingungen maßgebend.

Als Material für die Elektroden wurde wiederum Gold gewählt. Zur Verwendung gelangte gewalztes Feingoldblech und gezogener Golddraht. Letzterer hatte einen Durchmesser von 0,04 mm. Der Durchmesser der Zylinderelektrode betrug etwa 14 mm. Die Reinigung von organischen Substanzen geschah mit verdünnter Schwefelsäurebichromatlösung. Darnach wurde mit destilliertem Wasser und Alkohol gespült. Das Rohr wurde nun in einen elektrischen Ofen gebracht und 120 Stunden auf etwa 350° C erhitzt. Es stand dauernd über zwei Ausfrierfallen, die sich in Dewardschen Gefäßen mit flüssigem Stickstoff befanden, mit der Pumpe in Verbindung. Die Dichtigkeit der Vakuumapparatur wurde durch den Druckanstieg in längeren Zeiten bestimmt.

Als Füllgas diente, wie oben schon erwähnt, spektralreines Helium aus Glasbomben. Um eine Kontrolle zu haben, wurden immer gleich zwei identisch gebaute Rohre untersucht, die zusammen angeschmolzen waren. Gemessen wurde nur mit einem Widerstand von $3 \cdot 10^{10}$ Ohm. Die Messung selbst beschränkte sich bis auf die Aufnahme einer Stromspannungskurve bei 14 mm Druck (Figg. 12a u. b) nur auf die Entladungsform als Funktion von Druck und Polung. Dabei wurden, wie früher schon erwähnt, drei verschiedene Entladungsformen unterschieden:

a) Ruhiger konstanter Glimmstrom, ohne Unstetigkeit, dessen Größe nur von der Spannung abhängt.

b) Schwingende Entladungen, wobei noch Unterschiede zu machen waren zwischen:

Tabelle 2

Versuche mit kleinen Goldelektroden in Helium

Nr.	Rohr	Zylinder +			Zylinder −			Druck u. Sonst.
		Zählt	Schwingt	Glimmt	Zählt	Schwingt	Glimmt	
1	a	+220			245	265		2,5
2	i	200—300+			283		285—295	2,5
3	a	215	>215			260		2,5
4	i	250—310	310	260	310		310—280	2,5
5	a	310					290	3,0 Glimmr.!
6	i	300, 360					=	3,0
7	i	265—360	360—270			295		3,0
8	a			=			280	3,0
9	a	220					200	14
10	i	215					205	14
11	i	210, 210						14
12	i				350—400−			8
13	a				=			8
14	a				345—460	>480		0,8
15	i				335—600	div.		0,8
16	a				285, 285	310—280		1,4
17	i				360+, 350	392		1,4
18	a	280−		340, 320				2,7
19	i	315−		310—275				2,7
20	a				265—		300—260	2,7
21	i					330	330—295	2,7
22	a	265, 240		295—235			290	5,5
23	i	245, 240		268—220			310—295	5,5
24	a	225—240		=			260	11
25	i	225		270—220			270	11
26	a	225—265		265—220			227	21
27	i	235—265		265—220			228	21
28	a	225—310		310			265	50
29	i	267—320		320−			270	50
30	i	250 nur bei hohem R.						50
31	a				353		385−	0,9
32	i				350		500−	0,9
					335	div.		
33	a				440—550	div.		0,54
34	i				420—750	750 div.		0,54
35	a				460	div.		0,54
36	i					500 div.		0,54
37	i				370+	430—400		1,2
38	a				310	340		1,2
39	a	290, 260+		295—260		270	288—265	3,3
40	i	285, 260+		312—245	295	332—290	285	3,3
41	i	225, 285+		290—220			315—295	5,5
42	a	235	235	270, 260			288—277	5,5
43	i	220+		260—220			278	9,9

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Nr.	Rohr	Zylinder +			Zylinder −			Druck u. Sonst.
		Zählt	Schwingt	Glimmt	Zählt	Schwingt	Glimmt	
44	a	>218+		260—218			273	9,9
45	a	>220		250—218			235	16,2
46	i	215—250		250—220			240	16,2
47	i	235					302	8,5
48	i	255				302		3,8
49	i	1000, 360		330		300		1,9
50	i				>1000−		600–1000	0,4
51	i	228+	Einfluß der Batterieerdung				292	11,1 + Pol geerd.
52	i	228					292	11,1 − Pol geerd.
53	i						320, 310	11,1 nach läng. Stehen
54	a						288	11,1 dto.
55	a					270		2
56	i					340, 305		2
57	i				470+	520 div.		0,82
58	a				370	div.		0,82
59	a				900−			0,31
60	i				292	div.		2,35
61	i				385			1,1
62	i	205—235					280	9,3
63	a	230+, 240					265	9,3
64	a				290			1,6
65	i				330			1,6
66	i						287	10,2
67	a						265	10,2
68	i	240						10,2
69	i				400—600			0,7
70	a				392	500 div.		0,7
71	a	325			370			104
72	i	335			=			104
73	a	250, 260					270	45
74	i	260, 270					280	45
75	i				570			0,58
76	i				520			0,78 abgeschmolzen

Zeichenerklärung:

+ bedeutet „gut“,
− allein bei einer Zahl stehend bedeutet „schlecht“,
= bedeutet „ebenfalls“,
div. bedeutet eine schwingende Entladung, deren Amplituden mit der Zeit immer größer werden und sich dann in einzelne Stöße auflösen,
> bedeutet „größer als . . .“
Die angegebenen Zahlen bedeuten Spannungen in Volt, in der rechten Vertikalreihe Drucke in mm Hg.

1. Gedämpft und ungedämpft schwingend.
2. Mit negativer Dämpfung schwingend (in Tab. 2 mit „div." bezeichnet.) Hierbei wuchsen die Amplituden einer einmal eingetretenen Schwingung zeitlich immer weiter an, um sich dann in einzelne Stöße aufzulösen. Diese Form trat besonders bei negativem Zylinder und niederen Drucken auf.

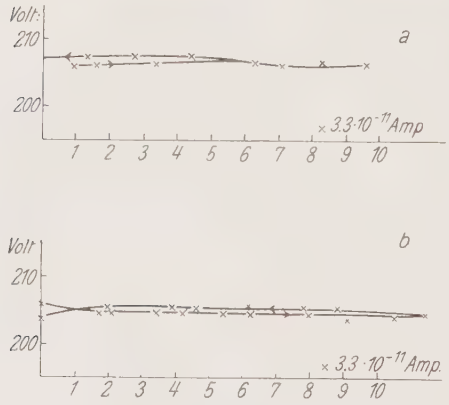


Fig. 12. Helium 14 mm Hg.
a) Kathode: Goldzylinder. Anode: Golddraht 0,04 mm Durchmesser
b) Kathode: Golddraht 0,04 mm Durchmesser

c) Ausgesprochene Zählstöße, die längere Zeit zu beobachten waren und auch mit radioaktiver Substanz geprüft wurden.

Tab. 2 zeigt die Versuchergebnisse in zeitlich richtiger Reihenfolge.

Ergebnisse

Sämtliche drei Entladungsarten konnten beobachtet werden. Oberhalb von etwa 4 mm Druck zeigte sich bei *negativem* Zylinder ein reiner stoßfreier Glimmstrom. Bei einem Druck, der kleiner war, zeigten sich große Stöße, die sich über ein ausgedehntes Spannungsintervall erstreckten. Dabei traten im allgemeinen auch die divergenten Schwingungen (b, 2) auf. Merkwürdigerweise zeigte sich in dieser Polung auch bei einem Druck von 104 mm ein Zählen. Zur Kontrolle der vorangegangenen Ergebnisse wurde dann anschließend noch einmal bei niederem Druck gemessen, wo das Zählen wieder verschwand (Tab. 2, Nr. 71/74). Da das mit dem letzten verfügbaren Helium ausgeführt wurde, konnte es nicht noch einmal kontrolliert werden.

Bei *positivem* Zylinder waren Glimmen und Zählen nebeneinander zu finden. Die Schwingungen konnten fast gar nicht bemerkt werden. Im Gegensatz zu den Messungen mit negativem Zylinder fielen Glimm- und Zählbereich im Spannungs- und Druckdiagramm annähernd zusammen. Aus einem Zählen konnte sich, besonders wenn mehrere Stöße schnell hinter-

einander folgten, ein Glimmen bilden. Dieses ließ sich dann bis zum Strom $J = 0$ halten, ohne abzureißen. Beim Wiederansteigen der Spannung traten wiederum Zählstöße auf. Sie hatten keine sehr großen Amplituden, waren annähernd gleich stark und nur mit dem höchsten Ableitewiderstand zu bekommen. Bei kleineren Widerständen trat sofort der Glimmstrom ein, ohne vorangehendes Zählen. Dies war beliebig oft reproduzierbar, sowohl was Spannungen als auch Entladungsformen betrifft. Formierungen und Aufladungen konnten kaum gefunden werden. Auch stärkere Glimmentladungen, die vordem manchmal sehr große Änderungen im Gefolge hatten, änderten hierbei nichts. Beide Rohre (Rohr i und a) zeigten auch immer parallel dieselben Erscheinungen. Es läßt sich also sagen, daß es damit gelungen ist, den Zähleffekt nur noch vom Gasdruck und der Polung des Rohres abhängig zu machen. Damit ist der zweite Teil der Problemstellung ebenfalls erfüllt.

Versuchsergebnisse, nach einzelnen Gesichtspunkten geordnet

Art des Füllgases

Es ist gelungen, in reinem Helium, Wasserstoff, Stickstoff ganz zählfreie Entladungen zu bekommen. Als Elektrodenmaterial wurde dabei Gold und Aluminium verwendet. Bei Wasserstoff und Stickstoff war es nur möglich, bei sehr sorgfältig gereinigten Rohren glatte Entladungen zu erhalten. Längere, reproduzierbare Eigenschaften waren bei diesen beiden Gasen nicht zu erreichen. Es wird darauf zurückgeführt, daß geringste Spuren von Wasserdampf immer wieder nach einiger Zeit zu einem Angriff des Füllgases auf das Elektrodenmetall führen. Bei reinem Helium waren die Verhältnisse besser reproduzierbar, vermutlich deshalb, weil diese chemische Einwirkung vollkommen fehlte. Die Messungen erstreckten sich auf einen Druckbereich von etwa 4—30 mm Hg. Bei sehr niederen Drucken und hohen Spannungen konnten jedoch manchmal auch bei sauberen Rohren disruptive Entladungen gefunden werden, die bei Steigerung des Druckes wieder verschwanden.

Auch der Zusatz von trockenem, reinem Sauerstoff führte nicht unter allen Umständen zum Auftreten des Zählens. Das dürfte auf eine ähnliche Wirkung des Wasserdampfes (vgl. oben) zurückgeführt werden. Alle diese Erscheinungen sind sehr durch Glimmentladungen, die hauptsächlich die Elektrodenoberflächen ändern, zu beeinflussen.

Verunreinigungen

Als ausschlaggebende Verunreinigung ist wohl Wasserdampf anzusehen, der hier die Rolle eines Katalysators übernimmt. Eine direkte Einwirkung des Füllgases auf die Elektroden ist aber auch nicht ausgeschlossen. Ein Zweifel, daß man es bei den mitunter lang andauernden Veränderungen des Entladungsrohres mit chemischen (bzw. Adsorption) Wechselwirkungen zu tun hat, ist kaum mehr möglich.

Elektrodenform und -material

Die Elektrodenform spielt bei verunreinigten Rohren keine ausschlaggebende Rolle, es war gleichgültig, ob Draht- oder Plattenelektroden verwendet wurden. Bei Messungen in reinem Helium mit Goldelektroden gelang es jedoch, den ganzen Zähleffekt nur von der Größe der Drahtelektrode abhängig zu machen. Dabei mußte der Draht allerdings ziemlich dünn (0,04 mm Durchmesser) gewählt werden.

Das Material der Elektroden scheint immer nur mit dem Füllgas zusammen eine Rolle zu spielen, je nachdem, ob es dabei zu Gasbeladungen kommen kann oder nicht. Auch bei reinem Gold konnten Zählstöße gefunden werden, was aber wohl auch wieder auf die Wirkung eines Zwischenkörpers, entweder Wasserdampf oder Spuren Quecksilber, schließen läßt. Das Elektrodenmetall allein war nie ausschlaggebend.

Form und Lage der statischen Charakteristik

Die Versuche aus der Form und der Lage der statisch gemessenen Charakteristik etwas über die Zählfähigkeit eines Rohres auszusagen, führten zu keinem Resultat. Es konnten oft fallende Teile (dE/dJ = negativ) beobachtet werden, die aber nicht öfters reproduzierbar und nur anfänglich zu finden waren. Als Ursache dieser Erscheinungen kommen Wandladungen und Veränderungen auf den Elektroden während der Messung in Betracht. Länger andauernde Veränderungen deuten wohl hauptsächlich auf letzteres hin. Eine Erklärung dafür wäre die, daß durch die Reinigung die Ansatzstellen der Entladung an den Elektroden stark geändert, und dadurch die Feldverhältnisse anders werden. Hand in Hand damit geht eine Veränderung der Elektronenaustrittsarbeit (Kathodenfall) durch das Verschwinden der Verunreinigungen.

Es wurde öfters beobachtet, daß bei gut zählenden Rohren, die starken Glimmentladungen zwecks Reinigung ausgesetzt wurden, sich an den Elektroden helle, festsitzende Licht-

pünktchen zeigten, die erst nach ziemlich langer Zeit verschwanden. Ferner ergab sich, daß mit zunehmender Reinigung die Entladung von der zählenden Form über einen regelmäßig schwingenden in einen glatten Zustand überging. Unter der Voraussetzung, daß diese Erscheinung für das Auftreten des Zählens ausschlaggebend ist, zeigte eine Messung mit sehr klein gehaltenen Elektroden, daß dies in der Tat der Fall ist.

Damit ist die Wirkung der Verunreinigung ersetzt durch die hinreichende Kleinheit der Elektrode. Der Vergleich mit zählenden, normalen Rohren mit Verunreinigungen und jenen mit begrenzten Elektroden zeigt weitgehende Übereinstimmung.[1])

Versuch einer Erklärung des Zähleffektes

Aus den Versuchsresultaten ergibt sich, kurz zusammengefaßt, folgendes Bild:

Es gelingt, lediglich durch Verkleinerung der Drahtelektrode, ein Abreißen der Entladungen zu beobachten, die mittels radioaktiver Substanz als Zählstöße erkannt wurden. Außer von der oben erwähnten Drahtdicke, zeigt sich noch eine Abhängigkeit der Entladungsform vom Gasdruck und der Polung des Rohres. — Als Gegenstück zu diesen Versuchen diente ein vollkommen unter denselben Bedingungen hergestelltes Rohr mit einer größeren Elektrode, bei dem jedoch bei gleichen Gasdruckverhältnissen nie ein Zählen beobachtet werden konnte.

Bei der Erklärung muß unterschieden werden zwischen:

a) Draht ist Kathode

Am Rohr liegt anfänglich eine Spannung E_a, die höher ist als die Spannung $E_{\min}$, bei der gerade überhaupt noch eine Entladung brennen kann. Im Stromspannungsdiagramm ist sie der Einfachheit halber durch eine Gerade dargestellt (vgl. Fig. 13). Dies ist deshalb möglich, weil bei allen Entladungsstrecken ein Zündverzug vorhanden ist. Der Einsatz einer Entladung ist ja vom Vorhandensein eines an einer hierfür günstigen Stelle im Entladungsraum erzeugten Ions

1) Die Versuchsergebnisse stehen teilweise im Gegensatz zu denen anderer Autoren (W. Schulze, Ztschr. f. Phys. 78. S. 92. 1932), bei denen in unedlen Gasen keine zählfreien Entladungen beobachtet werden konnten. Da dort die Messungen mit anderen Elektrodenmaterialien (Eisen und Kupfer) ausgeführt wurden, sind die Resultate wohl nicht ohne weiteres vergleichbar. Es ist durchaus möglich, daß sich andere Materialien anders verhalten.

abhängig, das nur durch einen äußeren Ionisator gebildet werden kann. Wenn dies geschehen ist, setzt die Entladung als selbständige Form ein, dabei durch Stoß ständig neue positive und negative Träger bildend. Der Schnittpunkt der Widerstandsgeraden mit der Charakteristik stellt im allgemeinen dann die stabile Endform dar.

Unter der Voraussetzung, daß die Spannung am Rohr vor der Zündung höher ist wie nachher beim Endzustand, was durch das Vorhandensein des Zündverzugs erklärt sein soll, wird bei zunehmendem Strom die Spannung am Rohr abnehmen und damit eine negative Charakteristik durchlaufen.

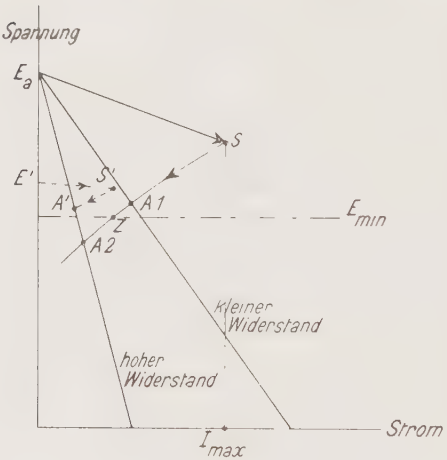


Fig. 13

Solange nur ein Widerstand und kein weiteres Schaltelement am Rohr liegt, ist dies die Widerstandsgerade selbst.

Beim Vorhandensein eines Kondensators, was in unserem Fall das Rohr selbst sein soll, entwickelt sich die einmal gezündete Entladung anders. Zuerst wird fast der gesamte Strom vom Kondensator geliefert und zwar solange, bis die Kondensatorspannung soweit gesunken ist, daß sie bei einem gewissen Strom I_{max} gerade gleich der Gegenspannung des Rohres wird. Dieser Zustand sei im Diagramm durch Punkt S dargestellt. Solange kann sich die Entladung also vollkommen unbehindert durch äußere Einflüsse entwickeln. Die Lage von Punkt S ist durch die Größe des Kondensators und die Geschwindigkeit der Spannungssenkung am Rohr bestimmt.

Für den zu untersuchenden Fall sei nun angenommen, daß sich nach der Zündung der Strom lawinenartig aufbaut, daß aber mit seinem zeitlichen Anwachsen gleichzeitig eine erhebliche Verzerrung des statischen Feldes durch die sich aufbauenden positiven Raumladungen stattfindet, die das Feld vor der Kathode verstärken und damit wieder den Strom usf. Begünstigt wird diese Entwicklung durch die spezielle Elek-

trodenform. Damit sei auch erklärt, daß die Spannung viel langsamer abnimmt, als der Strom zunimmt.

Wird nun Punkt S erreicht, so wird bei einer weiteren Stromlieferung die Spannung noch mehr absinken und die Entladung muß nun ihrem auch zeitlich stabilen Zustand (Schnittpunkt der Widerstandsgeraden mit der Charakteristik, Punkt $A\,2$) zustreben. Erreicht sie diesen nun, ohne daß dabei die Spannng weiter als auf $E_{\min}$ absinkt, so wird sie dort stabil weiterbrennen. Die Spannungssenkung ist nur dadurch bestimmt, wie schnell die Entladung zurückgeht. Wird dieser Punkt jedoch nicht erreicht, wird also $E_{\min}$ unterschritten, so muß die Entladung abreißen. Dies dürfte nun die Erklärung des Zählens sein (Z ist im Diagramm der Abreißpunkt).

Die Lage von A ist nun, wie oben schon erwähnt, davon abhängig, wie schnell sich die Entladung zurückentwickelt, sie ist aber auch durch die Größe des Vorschaltwiderstandes bedingt. Die notwendige Stromlieferung beim stabilen Punkt wird bei um so kleineren Spannungssenkungen erfolgen können, je kleiner der Vorschaltwiderstand ist und umgekehrt (vgl. $A\,1$ und $A\,2$). Durch Versuche konnte fernerhin auch bewiesen werden, daß es mit einem größeren Kondensator auch bei einem kleineren Widerstand gelingt, ein Abreißen (Zählen) zu erreichen, was in Übereinstimmung mit der Voraussetzung steht.

Ist nun die Entladung auf diese Weise abgerissen, so ladet sich der Kondensator (Rohr) wieder auf die Spannung E_a auf. Zur Erklärung der Gleichstromentladung, die mitunter nach Doppelstößen einsetzt, sei folgendes aufgeführt: $I_{\max}$ ist, wie oben erwähnt, abhängig von der Geschwindigkeit der Spannungsänderung. Es ist nun plausibel, anzunehmen, daß diese selbst wieder eine Funktion der Spannung ist und sehr klein wird (absolut genommen), wenn die Spannung am Rohr in der Nähe von $E_{\min}$ liegt. Dann ist der Stromstoß nicht so groß und es wird dadurch möglich, daß die Entladung auf einem stabilen Punkt endet (vgl. Kurve $E'\,S'\,A'$).

b) Draht ist Anode

Hier liegen die Verhältnisse so, daß es unterhalb eines gewissen Druckes (kleiner wie 4 mm Hg) nicht gelingt, reguläre konstante Glimmentladungen zu bekommen. Bei einem Druck, der darüber liegt sind dagegen *nur* glatte Glimmentladungen möglich. Aus den Versuchen ergibt sich, daß scheinbar auch die Größe der Anode von Einfluß ist.

1. *Druck größer als etwa 4 mm Hg*

Auch hier ist ein Zündverzug vorhanden, doch die Entladung wird anders einsetzen. Ein durch einen äußeren Ionisator gebildetes Elektron wird eine Ionenlawine einleiten. Im Gegensatz zur anderen Polung kommt es aber hier nicht zu einem Durchbruch, bei dem der Strom unter Abnahme der Spannung ansteigt, sondern es tritt gewissermaßen der entgegengesetzte Effekt auf. Die positive Raumladung wirkt hier bremsend auf den Strom. Der Feldverlauf wird so sein, daß sich durch die Wirkung der gleichnamigen Raumladung der Draht scheinbar verdickt, weil die Feldstärke an ihm dadurch abnimmt. Das ist aber gleichbedeutend mit einer zeitlich durchlaufenen positiven Charakteristik. Der Strom gleitet dabei in jedem Punkte stetig auf der Widerstandsgeraden seinem auch zeitlich stabilen Endpunkt zu.

2. *Druck kleiner als etwa 4 mm Hg*

Bemerkenswert für diese Verhältnisse ist die Tatsache, daß hier scheinbar überhaupt keine stetig brennenden Entladungen möglich sind. Eine so weitgehende Abhängigkeit vom Vorschaltwiderstand, wie sie bei der entgegengesetzten Polung beobachtet werden kann, war ebenfalls nicht festzustellen. Die Entladungsstöße waren sehr ungleich und schienen mit Annäherung des radioaktiven Präparates an Intensität zuzunehmen. Es ist denkbar, daß hierbei eine einmal eingeleitete Entladung durch Trägerverarmung erlischt. Das würde bedeuten, daß im wesentlichen nur durch Elektronenstoß neue Träger geschaffen werden, daß aber die Wiedererzeugung von Elektronen an der Kathode oder im Gasraum nicht mehr stattfindet. Ein Elektron könnte sich durch Stoßen ungeheuer vervielfachen, ohne daß die Entladung dabei stabil brennen brauchte. Der Multiplikationsfaktor ist dann natürlich eine Funktion der Entfernung vom Draht, in der das primäre Ion gebildet wurde. Das dürfte, wenigstens teilweise, die verschiedenen Größen der einzelnen Stöße als auch die Unmöglichkeit einer stetigen und gleichmäßigen Entladung erklären. Diese Erklärung ist auch schon von Geiger[1]) benutzt worden, um das Arbeiten des Zählers mit Drahtanode zu erklären. Wie weit hier die Ausbildung von Raumladungen an der Anode eine Rolle spielen kann, ist von Fall zu Fall je nach der Intensität des Stoßes verschieden. Sie werden sich aber wahrscheinlich wohl so auswirken, daß sie entladungshemmend

1) H. Geiger, Ztschr. f. Phys. **24**. S. 7. 1924.

sind (vgl. oben). Bei Versuchen, die mit einer ganz feinen Platinspitze ausgeführt wurden, zeigte sich auch ein Zählen bei positiver Spitze. Die Stöße erwiesen sich als ziemlich gleich und regelmäßig und waren ähnlich wie die, die hier bei negativem Draht gefunden wurden. Vielleicht sind diese Ergebnisse durch die noch kleineren Dimensionen der Spitze zu erklären. Welche Art der Raumladung, ob positive oder negative, zu dieser Erscheinung führt, ist schwer zu beantworten, Möglich ist, daß die positive Raumladung so stark bremsend wirkt, daß die Entladung erlischt, es ist aber auch denkbar. daß die Elektronenraumladung zu ähnlichen Verhältnissen führt, wie sie oben schon bei negativem Draht untersucht worden sind, daß die Entladung mit primär fallender Charakteristik einsetzt.

Untersucht man eine Entladung zwischen verunreinigten Tellerelektroden aus Aluminium, so findet man, daß sie zählt. Reinigt man nun dieses Rohr durch starke Glimmentladungen und durch Ausheizen und füllt man es darauf mit reinem Helium, so ist das Zählen verschwunden. Wird nun aber der Gasdruck soweit gesenkt, daß, was allerdings rein empirisch gefunden wurde, die mittlere freie Weglänge der Moleküle kommensurabel mit der Größe der Elektroden wird, so stellen sich wieder disruptive Entladungen ein, die eine gewisse Ähnlichkeit mit Zählstößen haben, ohne daß sie allerdings mit den zu untersuchenden identisch sind. Es kann sein, daß hier ein ganz ähnlicher Effekt vorliegt, der Druck ist natürlich, dank der viel kleineren Elektrode, entsprechend höher. Dies scheint doch darauf hinzuweisen, daß man es mit einer ganz anderen Entladungsgattung zu tun hat, deren Untersuchung nicht Zweck dieser Arbeit ist.

Anwendung der Erklärung auf die normalen Elektronenzählrohre

Bevor ein solcher Versuch unternommen wird, ist erst einmal zu prüfen, wieweit man berechtigt ist, die Verhältnisse, die im zuletzt beschriebenen Fall vorlagen (Goldrohr, reines Helium), auf die normalen Zählrohre anzuwenden. Es wurden Entladungen untersucht, bei denen die Träger aus positiven Gasionen und freien Elektronen bestanden, ein Fall, der weitgehend nur bei Edelgasen vorkommt. Ferner können wir annehmen, daß eine aktive Wirkung vom Füllgas auf die Elektrode ausscheidet, eine Tatsache, die bestimmt bei den normalen Rohren nicht der Fall ist. Die Versuche wurden mit möglichster Sauberkeit ausgeführt, was bei der Herstellung

der normalen Rohre nie geschieht und auch nicht erwünscht ist, weil damit ihr ganzes Arbeiten in Frage gestellt wird.

In der vorliegenden Untersuchung konnte festgestellt werden, daß der ganze Zähleffekt weitgehend von der Sauberkeit der verwendeten Entladungsstrecke abhängt. Es wurde ferner gefunden, daß es hier offensichtlich die Elektrodenoberflächen sind, die ausschlaggebend sind. Derartig langandauernde Veränderungen, wie sie beobachtet worden sind, lassen sich schwerlich nur durch Vorgänge im Gasraum erklären. Es zeigte sich auch, daß Spuren von Wasserdampf, die einem reinen Rohr zugeführt werden, sofort ein Zählen hervorrufen.

Die Ausführung der Zählrohre ist gewöhnlich so, daß zwischen einem Metallzylinder ein Draht ausgespannt ist. Beide befinden sich, luftdicht eingeschmolzen, in einem Glasrohr. Als Material für die Elektroden wird meistens Aluminium, Eisen oder Kupfer, manchmal auch Zink verwendet. Als Füllgas dient Luft von etwa 40 mm Hg-Druck. Als Meßgeräte werden sie sowohl mit negativer als auch mit positiver Drahtpolung betrieben.

Draht ist negativ

Nimmt man an, der Draht sei an seiner Oberfläche verunreinigt, z. B. durch Oxyd- oder adsorbierte Gasschichten, so wird dies nicht ganz gleichmäßig sein. Bedenkt man nun ferner, daß die Elektronenaustrittsarbeit weitgehend von der Reinheit der Metalloberfläche abhängt, so wird es bei einer Entladung Stellen geben, die bereits bei geringeren Feldstärken Elektronen zu emittieren vermögen. An diesen Stellen wird nun auch wieder das Feld durch die positive Raumladung verstärkt, wobei es zu lokal begrenzten Partialentladungen kommt, die sich ganz ähnlich verhalten werden wie diejenigen an einer sehr kleinen, aber reinen Elektrode. Der Abreißmechanismus ist also demnach analog zu erklären. Diese Behauptung kann auch noch dadurch gestützt werden, daß solche diskreten Punkte bei normalen Glimmentladungen tatsächlich beobachtet werden konnten und ihr Vorhandensein auch mit der Reinheit eines Entladungsrohres im Zusammenhang steht. Es sei noch auf eine Erscheinung hingewiesen, die manchmal an Zählrohren zu beobachten ist. Das Abreißen der einmal eingesetzten Entladung zeigt sich ganz unabhängig vom vorgeschalteten Widerstand, derart, daß sich der Widerstand ganz abschalten läßt und jeder Stoß das Elektrometer immer weiter auflädt. Es war auf diese Weise möglich, 20

und mehr Stöße zu beobachten. Das findet eine zwanglose Erklärung darin, daß in diesem Fall die Geschwindigkeit der Spannungssenkung so große Werte annimmt, daß Punkt S unter die Gerade $E_{\min}$ (vgl. Fig. 13) zu liegen kommt und deshalb kein Einfluß von R mehr vorhanden ist. Dies würde dann einer sehr kleinen Ansatzstelle an der Elektrode entsprechen.

Draht ist positiv

Hierbei ist zuerst zu beachten, daß es in diesem Falle durchaus nicht notwendig ist, daß nun auch der Abreißmechanismus an der Anode stattfinden muß. In einem Versuch konnte z. B. gefunden werden, daß ein Draht, der zwischen zwei Platten aus verschiedenen Materialien ausgespannt war, mit der einen Elektrode zählte, dagegen mit der anderen nicht (vgl. Tab. 1). Der Einfluß der Anode war im Laufe der Untersuchung eigentlich nur einmal festzustellen, nämlich bei einem wasserstoffbeladenen Platindraht, bei dem nach einem Glühen das Zählen verschwand. Alle anderen Versuche deuten mehr auf den Einfluß der Kathode hin.

Um diese Erscheinung zu verstehen, könnte man an ein ähnliches Verhalten der Entladung wie bei der Kathode denken. Bei unedlen Gasen und sehr stark mit Gas beladener Anode wären es negative Raumladungen, die sich durch die viel kleinere Beweglichkeit der Molekülionen gegenüber den Elektronen, stärker bemerkbar machen könnten. Die Rolle der durch Ionenstoß aus der Kathode befreiten Elektronen würden dann die positiven Ionen übernehmen, die von der Anode befreit werden. Dafür spricht auch die Veränderung, die einer Anodenbehandlung durch Reinigen folgt. Eine Anodenoberfläche, die durch Oxydschichten oder ähnliches noch mikroskopische Spitzen aufweist, mag in diesem Sinne günstig mitwirken.

Zusammenfassung

1. Das Zählen erweist sich als eine Auswirkung von Verunreinigungen auf den Elektroden, wobei der Zustand der Kathode besonders ausschlaggebend ist. Nach Reinigung der Elektroden durch Ausheizen und durch Glimmentladungen gelingt, es in Helium, Wasserstoff, Stickstoff und auch teilweise in trockenem Sauerstoff reine Gleichstromentladungen zu erhalten. Als Verunreinigung kommt hauptsächlich Wasserdampf in Frage.

2. Zwischen der Lage und Form der statisch bestimmten Charakteristik und dem Zählen konnte kein Zusammenhang

gefunden werden, obwohl jene auch sehr vom Reinheitszustand des Rohres abhängt.

3. Ein Rohr, dessen Elektroden aus reinem Gold bestanden, zeigte mit Elektroden normaler Größe und mit einer Füllung von reinem Helium unter *keinen Umständen* ein Zählen. Dies war auch nicht durch Hinzuschalten von verschiedensten Kondensatoren und Widerständen zu erreichen.

4. Ein Abreißen (Zählen) der Entladung war erst zu finden, nachdem eine Elektrode sehr klein gewählt wurde. Zuerst geschah dies durch Einschmelzen eines Platin–Wollastondrahtes in Glas, was aber zu störenden Aufladungen führte. Deshalb wurde später mit einem frei zwischen der Zylinderelektrode ausgespannten, sehr dünnen Golddraht gearbeitet, der ebenfalls zählte. Dabei zeigte der negative Draht ein analoges Verhalten wie die normalen Zählrohre.

5. Dieses Ergebnis wird als die Auswirkung positiver Raumladungen erklärt, die nach der Zündung eine fallende dynamische Charakteristik bestimmen. Der Abreißvorgang wird als Strommangel der Entladung gedeutet, die in ihrer ersten Phase nur von der Kapazität des Rohres gespeist wird und sich darnach auf einen Zustand einstellen muß, der nur von der Größe des Vorschaltwiderstandes bestimmt ist.

6. Das Funktionieren normaler Zählrohre wird analog erklärt. Auf der verunreinigten Kathode befinden sich Stellen, an denen die Entladung leichter ansetzt, wie in der Umgebung. Dabei kommt es zu räumlich sehr kleinen Partialdurchbrüchen, die sich ähnlich verhalten, wie oben angegeben. Es wird ferner versucht, den Einfluß der Anode in ähnlichem zu erklären.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. W. Nernst für seine Anregungen und sein außerordentliches Interesse an dieser Arbeit, herzlichst zu danken.

Auch den Herren der I. G. Farbenindustrie A.G., die mir bei der Beschaffung der reinen Gase behilflich waren, sowie Herrn Dr. H. Klumb, jetzt in Freiburg i. B., und der Firma Robert Schmidt, Berlin, ihnen allen sage ich an dieser Stelle meinen Dank.

Lebenslauf

Ich, Carl Bosch, wurde am 17. Juli 1906 in Ludwigshafen am Rhein geboren. Ich besuchte bis 1917 die Lessingschule in Mannheim und kam dann in die Oberrealschule nach Heidelberg, wo ich 1925 das Reifezeugnis erhielt. Darauf war ich 2 Semester in der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg in Nürnberg und anschließend noch ein Semester bei der Brown-Boveri A.G. in Mannheim als Werkstattspraktikant tätig, studierte dann 3 Semester Elektrotechnik an der Technischen Hochschule in Stuttgart und wurde am 3. Mai 1928 an der Universität Berlin immatrikuliert.